

<令和3年度助成>

運動後の身体回復を目的とした糖質 およびタンパク質摂取方法の探索

藤平 杏子

(東京工業大学 リベラルアーツ研究教育院、日本学術振興会 特別研究員)

1. 研究の背景および目的

運動終了後はすみやかに糖質とタンパク質を補給することで、筋タンパク質の合成が促進される¹⁾。しかし、運動直後は食品が胃から排出される速度が遅延し、消化不良の状態に陥ることが報告されている²⁾。したがって、運動後の栄養補給によって、速やかに身体回復を行うためには、運動直後の消化速度を速める栄養補給方法の確立が必要である。

安静時の研究では、飲料の温度が胃排出に影響を及ぼす要因の1つであることが確認されている³⁾。温かい飲み物(50~60℃)の摂取は、冷たい飲み物や体温と同等の飲み物(2~37℃)の摂取に比べて胃の収縮運動を増加させる⁴⁾。胃の蠕動運動は、噴門部から幽門への徐波による誘導によって伝播し、胃運動と胃排出を制御している。実際にヒトを対象とした研究では、温かい飲み物の方が冷たい飲み物よりも胃排出が速いことが示されている³⁾。またマウスを対象とした研究では、運動後の温かいグルコース溶液の摂取は、冷たい溶液の摂取と比較して、門脈中のグルコース濃度が高値を示し、肝グリコーゲンの回復が促進されることを示している⁵⁾。これらの研究から、運動後の温かい糖質・タンパク質飲料の摂取は、胃排出の促進を介して、運動後の身体回復を促進させるという仮説を立てた。

そこで、本研究は運動後における栄養摂取の温度が身体に及ぼす影響を明らかにし、運動後の身体回復を見据えた栄養摂取方法を立案することを目的として、1) 運動後の糖質・タンパク質飲料の摂取温度が消化吸収、代謝に及ぼす影響の検証、2) 異なる温度のタンパク質飲料の摂取と下肢の筋力トレー

ニングが筋力および筋量に及ぼす影響の検証、の2つの実験を実施した。

2. 方法

2.1 実験1方法

少なくとも週1回、1回あたり30分以上の運動習慣のある健常成人男性12名を対象としたランダム化クロスオーバー比較試験を実施した。研究は東京工業大学倫理委員会によって承認された。参加者はランダムな順序で、1) 運動後に4℃の糖質・タンパク質含有飲料400 mLを摂取する試行(EX+4℃)、および2) 運動後に60℃の糖質・タンパク質含有飲料400 mLを摂取する試行(EX+60℃)に参加した。参加者は実験当日朝、絶食状態で、120% HRpeakで20秒間、その後は25 Wで40秒間のサイクリング運動を繰り返す間欠性運動を20分間実施した。運動終了後、参加者は4℃(EX+4℃)または60℃(EX+60℃)の糖質・タンパク質飲料400 mLを摂取した。飲料摂取後、被験者は安静座位を2.5時間保った。その間、¹³C-酢酸ナトリウムを用いた安定同位体呼吸試験によって胃排出速度(% dose/h)を測定した。同時に、持続型血糖測定器を用いて間質液中のグルコース値を測定した。飲料摂取後の胃腸の不快感は視覚的アナログスケールを用いて測定した。

2.2 実験2方法

運動習慣のない健常成人男女46名を対象とした並行群間試験を実施した。研究は東京工業大学倫理委員会によって承認された。参加者はCold群(10

℃未満)とHot群(60℃)の2群に分けられた。介入期間中、両群とも1日1回、異なる温度のプロテイン飲料(タンパク質20g、脂質1.9g、炭水化物3.3g)を摂取した。両群とも週3回、30分間の脚部の筋力トレーニングを行った。トレーニング日には、運動直後にプロテイン飲料を摂取した。4週間の介入前後に固定ベルト式徒手筋力計を用いた膝関節伸展筋力の測定および生体インピーダンス法による下肢筋量を測定した。さらに、同意を得た19名の参加者を対象に、プロテイン飲料の温度(4℃または60℃)が胃排出速度(% dose/h、胃排出係数:GEC)に及ぼす影響を、 ^{13}C -酢酸ナトリウムを用いた安定同位体呼吸試験を用いて調べた。3SD以上のデータは外れ値として除外した。

3. 結果

3.1 実験1結果

試験開始から飲料摂取150分後まで、EX+4℃試験とEX+60℃試験で ^{13}C 排泄速度に差はなかった($p > 0.05$)。摂取後30分に着目した解析では、 ^{13}C 排泄速度はEX+4℃よりもEX+60℃の方が高い傾向があり($p < 0.10$)、飲料摂取30分後まで ^{13}C 排泄速度の曲線下面積は、EX+4℃よりもEX+60℃

で高値を示した($p < 0.05$) (図1A)。試験開始から飲料摂取150分後までの間質液グルコース値は、時間の主効果のみ認められた($p < 0.001$)。主観的な胃の不快感(「胃がきもちわるく感じますか」)は、試行の主効果が認められ、EX+4℃と比較してEX+60℃で低値を示した($p < 0.05$) (図1B)。試行と時間の交互作用は観察されなかった($p > 0.05$)。

3.2 実験2結果

膝関節伸展筋力は群間と介入前後の間に有意な交互作用がみられ(group×time;左脚: $p < 0.05$ 、右脚: $p < 0.05$)、Hot群のみ介入後の膝伸展筋力が高い値を示した(左脚: $p < 0.05$ 、右脚: $p < 0.05$) (図2A)。生体インピーダンスで測定した下肢筋量の変化に群間差はなく、Cold群、Hot群ともに左脚のみが介入後に増加した($p < 0.05$) (図2B)。胃排出速度の測定では、4℃と比較して60℃のプロテイン飲料の摂取後に、 ^{13}C 排泄率が高値を示した($p < 0.05$)。

4. 考察

実験1より、運動30分後までは、温かい糖質・タンパク質含有飲料を摂取した場合、冷たい温度で

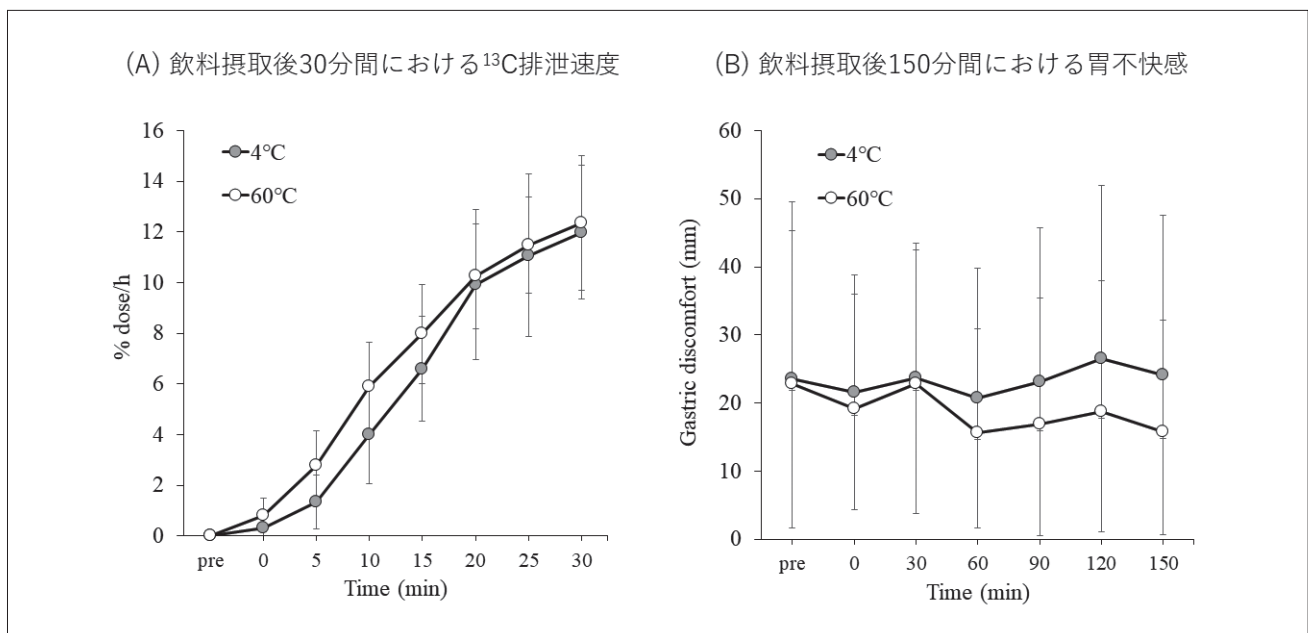


図1 実験1における ^{13}C 排泄速度 (A)、胃不快感 (B)

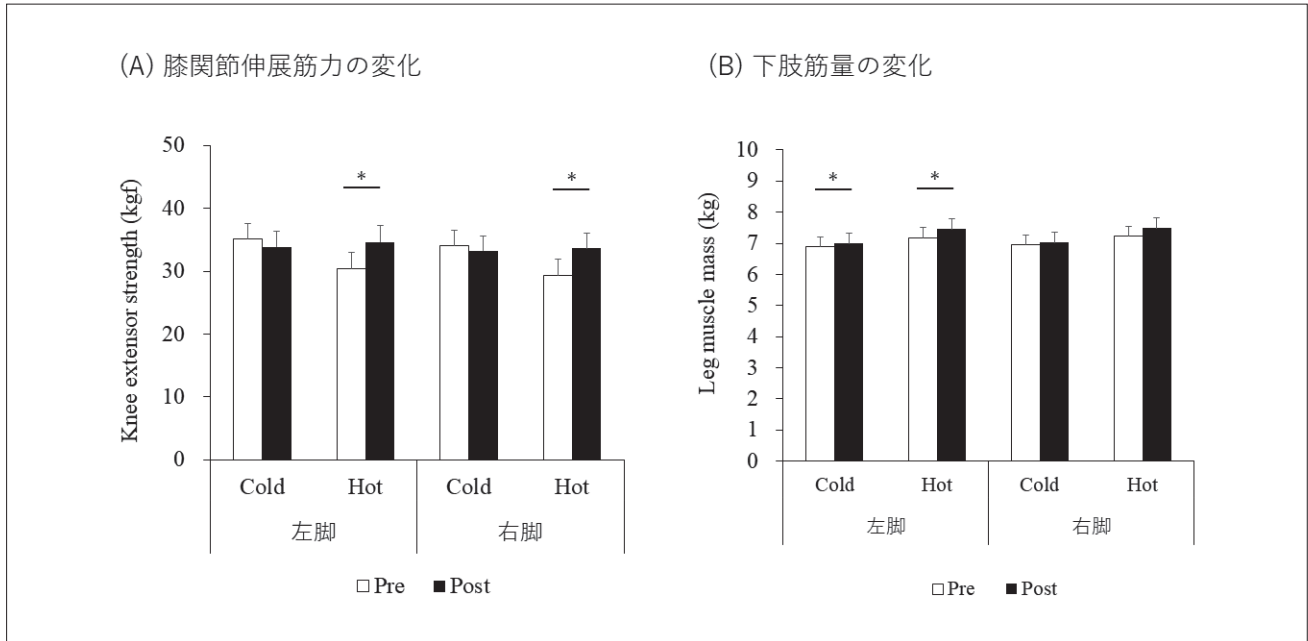


図2 実験2における膝関節伸筋力 (A)、下肢筋量 (B)
* $p < 0.05$

摂取した場合と比較して、胃の不快感が低減し、わずかに胃排出速度が速まることが明らかになった。胃壁には温度受容体が分布しており、熱受容体の一つである TRPV2 は 52℃を超える熱刺激によって活性化されることが報告されており、活性化によって胃内容排出を制御する⁶⁾。本研究では 60℃の飲料摂取によって、一時的に胃内温度が上昇し、胃内容排出が促進された可能性がある。実験2より、4週間にわたる温かいタンパク質含有飲料の摂取と下肢筋力トレーニングの組み合わせは、冷たい温度での組み合わせと比較して、膝関節伸筋力が増加することが明らかになった。しかし、下肢筋量には群間差が観察されなかったことから、筋力だけに温度による変化が生じたメカニズムについて、今後検証を進めていく予定である。本研究から、運動後に摂取する飲料の温度は消化速度を規定する要因の1つである可能性が明らかとなった。温かい温度で糖およびタンパク質を摂取することは運動直後の胃内容排出を促進し、筋力トレーニングと組み合わせることで、筋力の向上に資する可能性が示唆された。

謝辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人 浦上食品・食文化振興財団に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Van Itallie TB, Sinisterra L, Stare FJ. Nutrition and athletic performance. *J Am Med Assoc.* 2016;162: 1120-1126.
- 2) Kashima H, Harada N, Miyamoto K, Fujimoto M, Fujita C, Endo MY, et al. Timing of postexercise carbohydrate-protein supplementation: roles of gastrointestinal blood flow and mucosal cell damage on gastric emptying in humans. *J Appl Physiol.* 2017;123:606-613.
- 3) Mishima Y, Amano Y, Takahashi Y, Mishima Y, Moriyama N, Miyake T, et al. Gastric emptying of liquid and solid meals at various temperatures. *J Gastroenterol.* 2009;44:412-418.
- 4) Fujihira K, Hamada Y, Haramura M, Suzuki KMM. The effects of different temperatures of post-exercise protein-containing drink on gastric motility and energy intake in healthy young men. *Br J Nutr.* 2022;127:782-790.
- 5) Matsunaga Y, Koyama S, Takahashi K, Takahashi Y, Shinya T, Yoshida H, Hatta H. Effects of post-exercise glucose ingestion at different solution temperatures on glycogen repletion in mice. *Physiol Rep.* 2021;9:e15041.

-
- 6) Mihara H, Suzuki N, Yamawaki H, Tominaga M, Sugiyama T. TRPV2 ion channels expressed in inhibitory motor neurons of gastric myenteric plexus contribute to gastric adaptive relaxation and gastric emptying in mice. *Am J Physiol - Gastrointest Liver Physiol.* 2013;304:235-240.

Exploring glycoprotein intake methods for physical recovery after exercise

Kyoko FUJIHIRA

*Institute for Liberal Arts, Tokyo Institute of Technology,
Japan Society for the Promotion of Science*

The purpose of this study was to examine the effect of the temperature of carbohydrates and proteins taken in after exercise on digestion and absorption, and to develop a nutritional intake method to aid physical recovery after exercise. Two experiments were conducted: 1) examination of the effects of ingesting carbohydrate/protein-containing drinks at different temperatures on post-exercise digestion; and 2) examination of the effects of combining ingestion of protein drinks taken in at different temperatures with muscle strength training on muscle strength and mass. In Experiment 1, 12 healthy young males completed 2 one-day trials in random order. In both trials, the participants completed intermittent cycling exercise, and then consumed 400 mL of a carbohydrate/protein-containing drink at 4°C (EX+4°C) or 60°C (EX+60°C). The gastric emptying rate, gastric discomfort, and interstitial fluid glucose were measured continuously after ingestion. In Experiment 2, a 4-week parallel-group study was conducted on 38 healthy males and females. The participants were divided into two groups: a Cold group (<10°C) and a Hot group (60°C). Both groups consumed a protein drink once daily at different temperatures during the intervention period. Both groups performed 30 minutes of leg strength training three times a week. Knee extensor strength and leg muscle mass were assessed pre- and post-intervention. Only 19 consenting participants were assessed for gastric emptying rate after consumption of different temperature drinks. Experiments 1 and 2 revealed that consumption of a hot carbohydrate/protein-containing drink accelerated the gastric emptying rate slightly compared to a cold drink, while combination of a continuous hot protein-containing drink and strength training increased knee extensor muscle strength more than the cold drink combination.